

BDF を用いた EGR 付加ディーゼルエンジンの性能

位 田 晴 良^{*}・水 島 一 祐^{*}

Performance of Diesel Engine with EGR using BDF

Haruyoshi Ida and Kazuhiro Mizushima

BDF (Bio Diesel Fuel) is used as a fuel that reduces the heat-trapping gas. Moreover, the improvement of thermal efficiency can be expected by promoting combustion because the BDF contains oxygen in the composition. That is, the BDF contributes to the decrease in CO₂ concentration in the atmosphere because it is a carbon neutral fuel, and the exhaust gas emission is reduced with improving thermal efficiency by the use. However, NO_x emission increases though the generation of PM is controlled by the content oxygen when the BDF is used.

In this paper, EGR (Exhaust Gas Recirculation) that reduces the amount of the NO_x emission is applied to a diesel engine for the test using light oil and BDF, and the performance is compared.

1. 緒言

ディーゼルエンジンの熱効率向上のためには、燃料と酸素の混合促進による均一な燃焼が重要であると考えられ、とくに燃料噴射系についての研究が行われており^{1,2)}、燃焼状態の最適化によって熱効率の向上とPM(Particulate Matters)排出量の低減が可能となるが、燃焼温度が上昇してNO_x排出量の増加を引き起こすことが明らかになっている。一方、多くの市販エンジンにおいてNO_x生成の抑制を目的とする排ガス再循環(EGR: Exhaust Gas Recirculation)システムが用いられており燃焼温度を低下させるために、吸気中に不活性ガスとして排気ガスが導入されている。一般に、PMとNO_xの排出量はトレードオフの関係にあるため、両者の同時低減が課題である³⁾。

石油代替燃料として有望視されているバイオディーゼル燃料(BDF: Bio Diesel Fuel)は、その組成中に酸素を含むので、燃焼過程に酸素との混合が促進され、燃焼改善による熱効率の向上およびPM排出量の低減が期待できる。また、熱効率向上によってCO₂排出量が低減されるとともに、BDFは生物資源由来の燃料であるためカーボンニュートラルであって、化石燃料に代替して使用することにより大気中のCO₂濃度低下に寄与する^{4,5)}。

本研究はディーゼルエンジンの排ガスクリーン化研究の一環として実施するものである⁶⁾。本報では、酸素濃度および燃焼温度を低下させてNO_x低減を図るEGRと、含酸素燃料であることから燃焼が改善され熱効率向上とPM低減が期待できるBDFの使用に着目して検討を行う。すなわ

* 機械工学科

ち、BDFの使用によって高いEGR率で稼動することを目指し、BDFを用いたEGR付加ディーゼルエンジンによる性能試験を行う。その結果からエンジン性能について検討する。

2. 小型ディーゼルエンジンによる性能試験

2.1. 実験方法

EGR を適用して小型ディーゼルエンジンからの排出ガスの各成分の量を Fig.1 に示す排ガス計測装置によって測定した。

EGR率（吸気中に混入する排ガスの体積比率）を 20%として負荷および回転数を変化させた場合と EGR率を 0～50%に変化させた場合の燃費、排気温度、NO_x濃度、PM中の各成分の量を計測した。それらの結果より軽油とBDFを使用する場合でエンジン性能ならびに排出ガス特性を比較検討した。

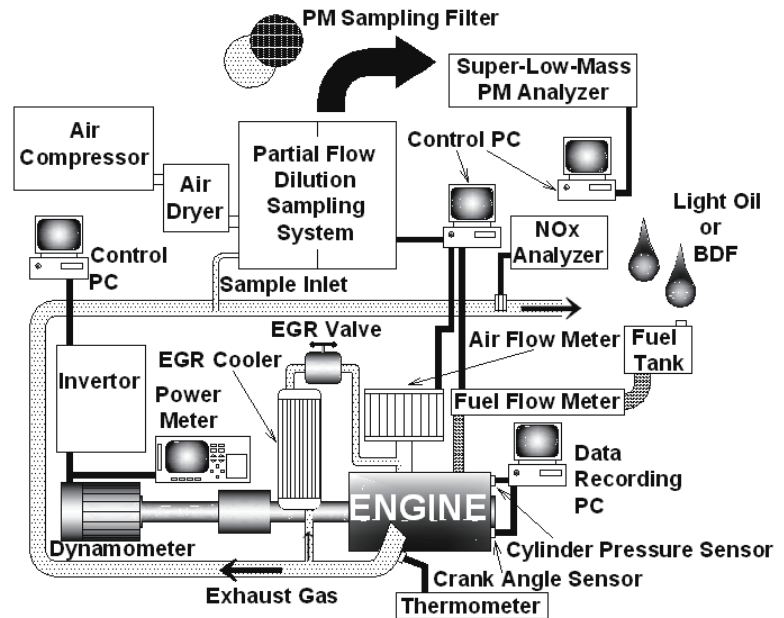


Fig.1 Schematic representation of analyzing system of exhaust gas

2.2. 供試エンジン

実験に用いたディーゼルエンジンの諸元を Table 1 に示す。

Table 1 Specification of the diesel engine

Engine type	Horizontal, water cooled, 4 stroke
Combustion chamber	Direct injection
Cylinder / Bore and stroke [mm]	Single / 102 × 105
Displacement [l]	0.857
Maximum power [kW] {PS} / Engine speed [min ⁻¹]	12.5 {17.0} / 2400
Compression ratio	17.8
Air charging	Naturally aspirated

2.3 供試燃料

燃料にはジャパンエナジー社製の 2 号軽油および油籐商事社製の BDF を用いた。この BDF は廃食用油より精製されたものである。これら 2 種類の燃料の主な性状を Table 2 に示す（島津テ

クノリサーチ，測定分析結果報告書，発行番号 KC-24895(2005)より).

BDF は軽油と比較すると，引火点および動粘度が高く総発熱量が低く，酸素を多く含んでいることがわかる．

Table 2 Specification of fuels

Item	Light oil	BDF
Density (15°C) [g/cm ³]	0.8175	0.8855
Kinematic viscosity(50°C) [mm ² /s]	1.804	3.786
Flash point [°C]	52.0	155
Oxygen content [wt%]	0.26	11.24
Gross calorific value [MJ/kg]	45.99	39.92

3. 性能試験（EGR 率 20％）の結果および考察

3.1. 正味燃料消費率

いくつかの正味平均有効圧において，軽油と BDF を用いた場合の正味燃料消費率とエンジン回転数の関係を Fig.2 に示す．軽油使用時に比べて，BDF 使用時は燃料消費率が増加することがわかる．これは軽油に比べて発熱量が低く (Table 2)，同じ運転条件を得るための燃料を多く必要とするためである．そこで，燃料の発熱量の差異ではなく，燃焼性に対する影響を比較するため，発熱量の比を BDF の消費量に乗じることにより，その差異を補正し，機関回転数に対する正味燃料消費率の変化を求めた．いくつかの正味平均有効圧におけるその結果を Fig.3 に示す．軽油および BDF 使用時ともにエンジン回転数が上昇すると燃料消費率は極小となった後に緩やかに増大し両者に相違はほとんど見られないが，BDF を使用することによって燃料消費率が若干低下することがわかる．これは，EGR により吸気中の酸素濃度が低下しても BDF の含有酸素により燃焼が促進されるためであると考えられる．

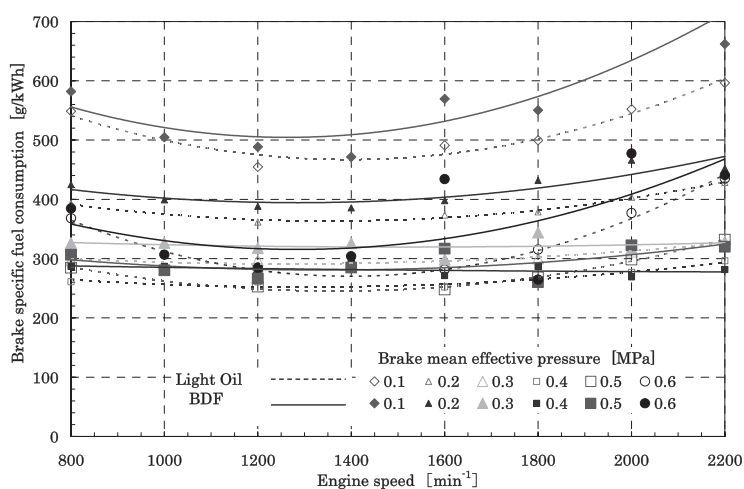


Fig.2 Comparison of brake specific fuel consumption using light oil and BDF

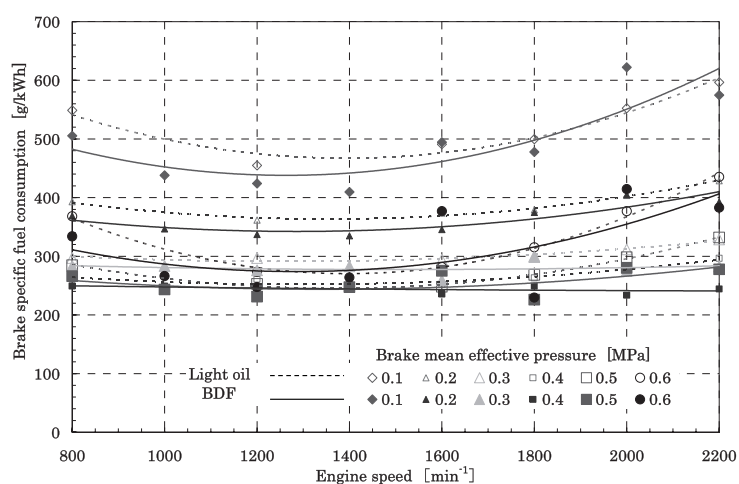


Fig.3 Comparison of brake specific fuel consumption using light oil and BDF
(corrected by the proportion of heat value)

3.2. 排気温度

いくつかの正味平均有効圧において、軽油と BDF を用いた場合の排気温度とエンジン回転数の関係を Fig.4 に示す。BDF の使用によって、高回転かつ高負荷域における排気温度が上昇する。これは発生熱量の上昇する条件、つまり空気過剰率の低下する条件において BDF の含有酸素による燃焼促進効果が顕著になるためであると考えられる。

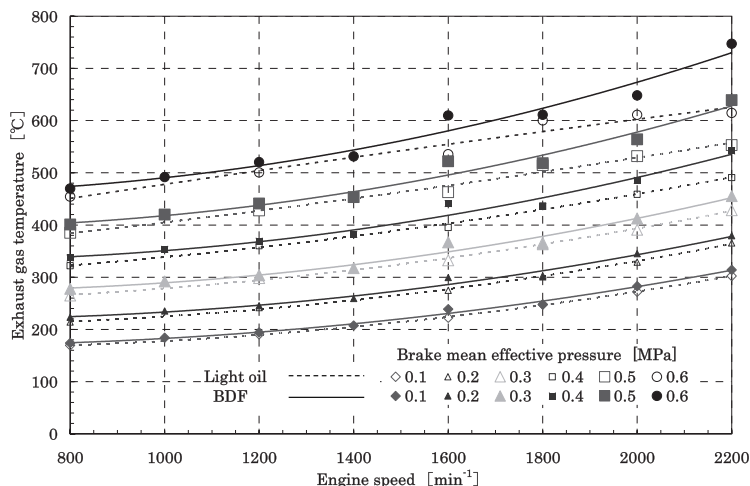


Fig.4 Comparison of exhaust gas temperature using light oil and BDF

3.3. NO_x排出量

いくつかの正味平均有効圧において、軽油とBDFを用いた場合のNO_x排出量とエンジン回転数の関係を Fig.5 に示す。負荷の増大、つまり空気過剰率の低下とともにNO_x排出量が減少することが分かる。Fig.4 においては高負荷時に排気温度が上昇することから、温度条件よりも酸素濃度の影響が大きいといえる。また、低負荷かつBDF使用の場合は軽油使用時との排出量の差が拡大するが、これもNO_x生成時の酸素濃度が増加するためであると考えられる。しかし、高負荷域においてはBDFの使用によるNO_x排出量の増加は僅かである。

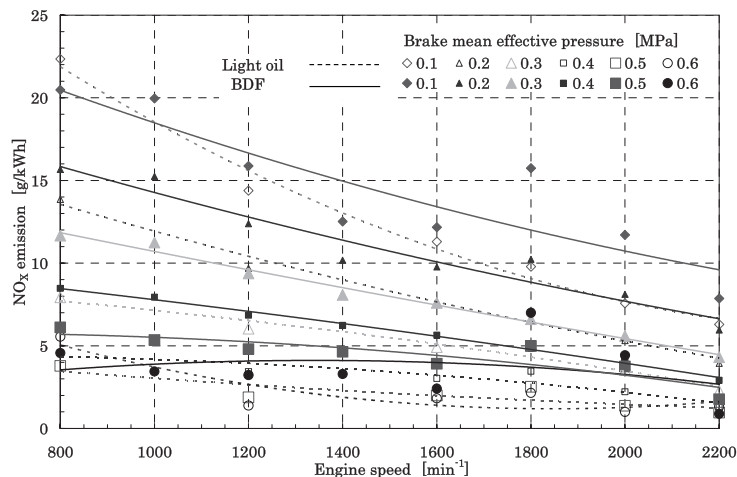


Fig.5 Comparison of NO_x emission using light oil and BDF

3.4. PM 排出量

いくつかの正味平均有効圧において、軽油と BDF を用いた場合の PM 排出量とエンジン回転数の関係を Fig.6 に示す。BDF の使用によって高負荷域において PM 排出量が低減する。

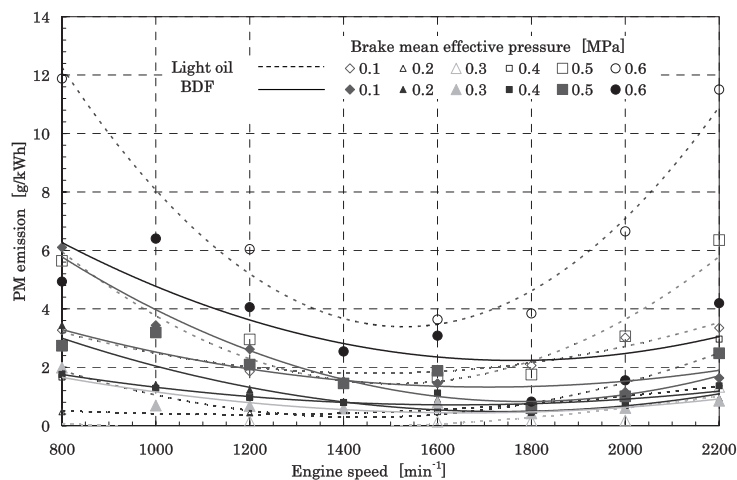


Fig.6 Comparison of PM emission using light oil and BDF

これも BDF により完全燃焼に必要な酸素が十分供給されるためであると考えられる。

3.5. PM 成分の質量比

エンジンの運転条件別に排出 PM 中の成分の質量比を Fig.7 に示す。低負荷域においては燃焼温度が低いことが影響しており、未燃焼燃料である有機溶剤可溶成分（SOF：Soluble Organic Fraction）の割合が増加する。高負荷域においては、燃料噴射量が増加すると燃焼温度の上昇により SOF の割合は減少するが、空気過剰率の低下により SOOT の割合が増加するものと考えられる。また、軽油使用時と比較すると、ほとんどの条件において BDF の使用により SOOT の割合が低下する。これも BDF 中の含有酸素の影響であると考えられる。

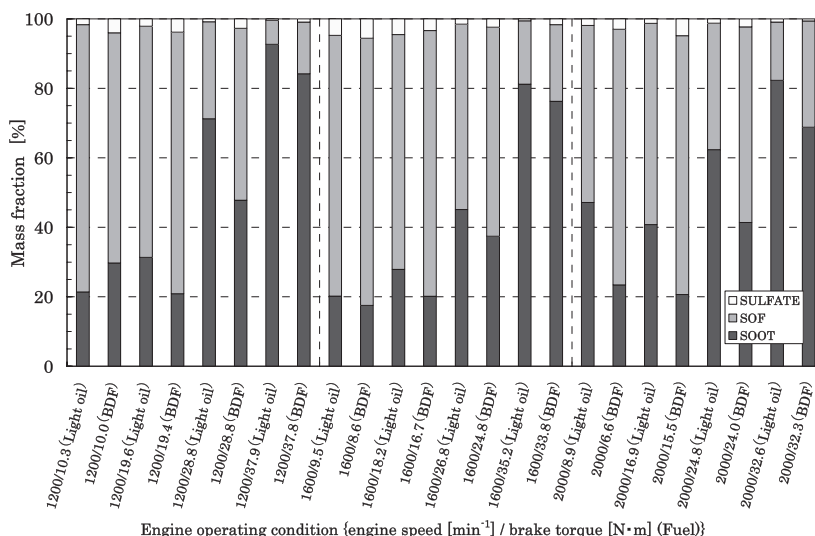


Fig.7 Fraction in PM (EGR rate 20%)

4. 性能試験（EGR 率変更）の結果および考察

エンジン回転数 1800min^{-1} とし、EGR 率を 0～50% に変更した性能試験の結果を以下に示す。また、高 EGR 率における運転安定性を考慮して低負荷（正味平均有効圧 0.12MPa ）とした。

4.1. 正味燃料消費率

EGR 率に対する正味燃料消費率の推移を Fig.8 に示す。Fig.3 と同様に燃焼性比較のために発熱量の相違を補正している。Fig.8 に示すように EGR 率の上昇とともに燃料消費率が低下することが分かる。また、軽油使用時と比較すると、EGR 率が 0～50% の範囲では BDF を使用した場合の燃料消費率が低下することがわかる。

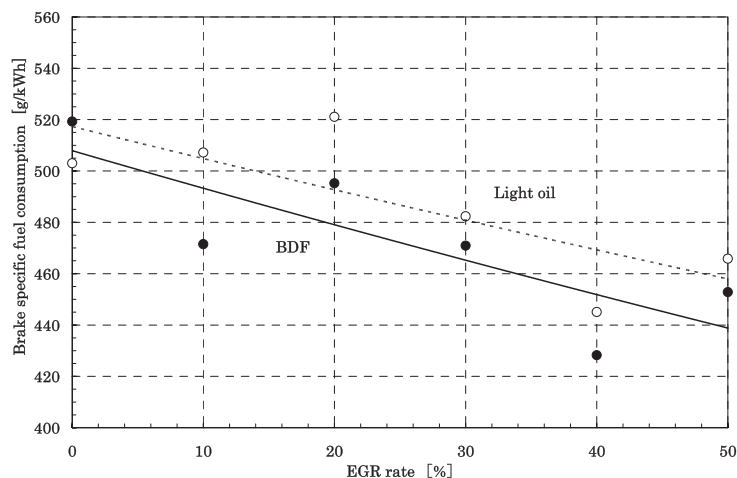


Fig.8 Comparison of brake specific fuel consumption by EGR rate change using light oil and BDF

4.2. 排気温度および吸気温度

EGR 率に対する排気温度および吸気温度の推移を示す Fig.9 より、吸気温度は EGR 率とともに上昇することが確認できる。これにより燃料の着火が活性化し、Fig.8 に示すように燃料消費率が低下するものと考えられる。また、排気温度は EGR 率を変更してもほぼ一定であることが分かる。これは、EGR 率の増加とともに燃焼温度が低下するにもかかわらず、吸気温度が上昇するため排気温度の低下がほとんど見られないものと考えられる。

一方、軽油使用時と BDF 使用時の排気温度の結果は、EGR 率 20%における Fig.4 の傾向と異なっている。これは、本実験における負荷は小さく空気過剰率が大きいため、酸素濃度の影響よりも燃料の発熱量の違いが反映されたものと考えられる。

4.3. NO_x排出量

EGR 率に対する NO_x 排出量の推移を Fig.10 に示す。これより EGR 率の低い条件においては、燃料中の酸素含有量の差異によるものと考えられる影響が NO_x 排出量に表れているが EGR 率が 50%における NO_x 排出量は、軽油および BDF 使用時ともに著しく減少する。

4.4. PM 排出量

EGR 率に対する PM 排出量の推移を Fig.11 に示す。EGR 率が低く吸気中の酸素濃度が高い条件において軽油使用時と比較すると、BDF 使用時は PM 排出量が増加している。これは燃焼に必要な酸素が十分に確保できる雰囲気中においては、発熱量の大小による温度条件の違いが PM 排出量に影響するものと考えられる。また、EGR 率が高くなると、BDF 使用時の PM 排出

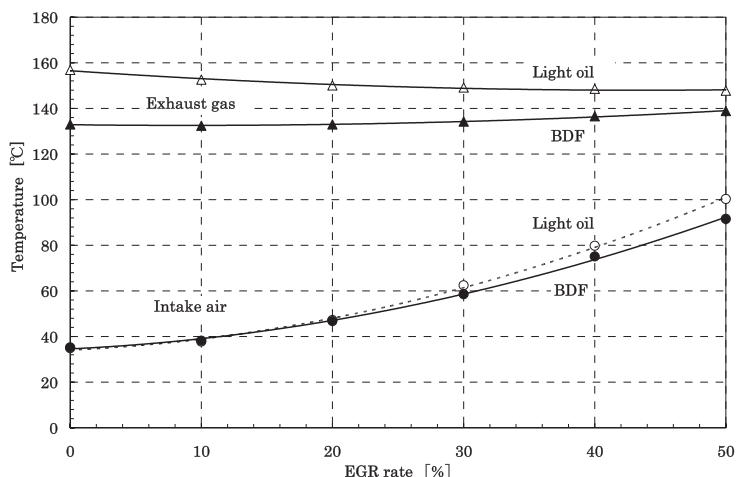


Fig.9 Comparison of exhaust gas temperature and intake air by EGR rate change using light oil and BDF

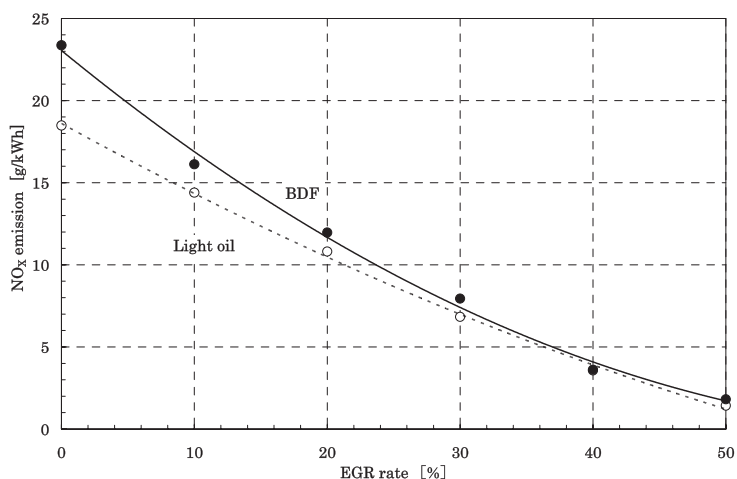


Fig.10 Comparison of NO_x emission by EGR rate change using light oil and BDF

量は軽油使用時よりも減少し、これは BDF 中の含有酸素によるものと考えられる。

4.5. PM 成分の質量比

エンジンの運転条件別に排出 PM 中の成分の質量比を Fig.12 に示す。EGR 率の低い条件においては、SOF の割合が大きく SOOT の割合が小さい。これは酸素濃度が高い結果である。また、EGR 率の上昇とともに SOF の割合が減少し SOOT の割合が増加する。Fig.9

において、排気温度は EGR 率の上昇に対してほとんど変化しないことから、酸素濃度の低下が SOOT の割合を増加させているものと考えられる。一方、吸気温度は EGR 率とともに上昇することから、着火性は向上し SOF の割合が減少するものと考えられる。また、軽油使用時と比較すると、ほとんどの条件において BDF の使用により SOOT の割合が減少する。この減少率

は EGR 率が高い条件において大きく、BDF 中の含有酸素の影響が顕著になるものと考えられる。

5. 結言

排ガス浄化技術の一つとして、BDF を用いた EGR 付加ディーゼルエンジンの性能について検討した結果は以下のとおりである。

- 1) EGR 率 20% においては、BDF の使用によって燃料消費率が若干ながら低下し燃焼の促進が確認できる。また、低負荷域においては軽油使用時よりも NO_x 排出量が増加する。しかし、高負荷域においては BDF の使用による NO_x 排出量の増加は僅かである。
- 2) EGR 率が 0~50% においては、EGR 率の上昇に伴い吸気温度が上昇するため、軽油および BDF の着火性が向上する。したがって、燃焼が促進し燃料消費率は低下するが、EGR の効果によ

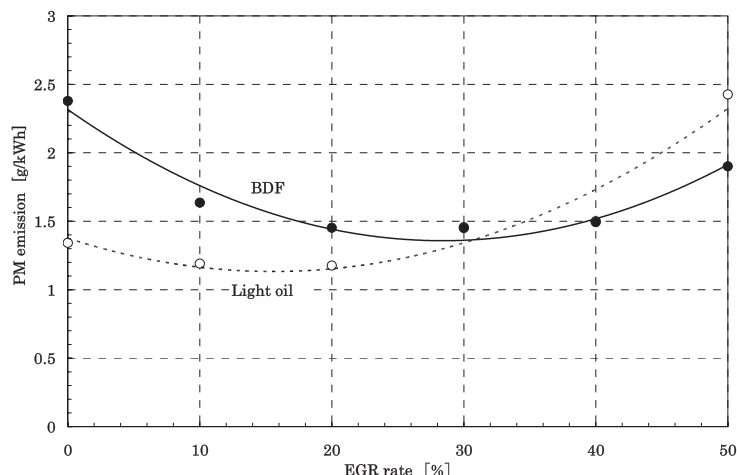


Fig.11 Comparison of PM emission by EGR rate change using light oil and BDF

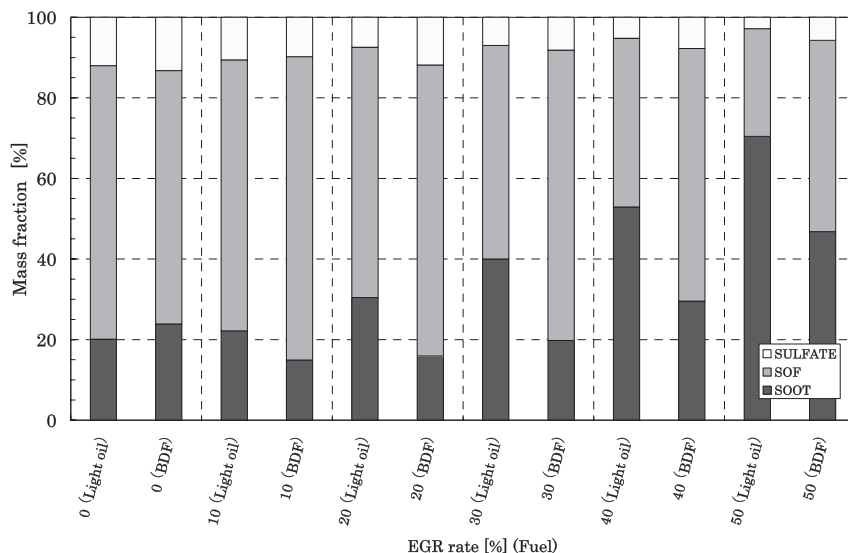


Fig.12 Fraction in PM (EGR rate change)

りNO_x排出量は抑制される.

- 3) EGR 率が高い範囲において, BDF 使用時は含有酸素により PM 中の SOOT の割合が減少するため, 軽油使用時よりも PM 排出量が減少する.
- 4) 高EGR率で運転する場合, BDFの使用は燃焼性を向上させ, NO_xおよびPMの同時抑制に有効であることがわかり, 排ガス浄化技術適用に対する指針が得られた.

参考文献

- 1) 両角岳彦, Diesel Fuel Injection System, モーターファン・イラストレーテッド, 1(2006), 46-51.
- 2) 竹谷禎貴, 2015 年度目標の新燃費基準について, エンジンテクノロジー, 9-5(2007), 8-11.
- 3) 小川英之, ディーゼル乗用車を虐待死させて京都議定書は守れるのか?, エンジンテクノロジー, 7-3(2005), 18-24.
- 4) 小山成, 次世代バイオディーゼル燃料の開発, 自動車技術, 61-11(2007), 22.
- 5) 池上詢, バイオディーゼル・ハンドブック, 日報出版(2006), 7.
- 6) 水島一祐, ディーゼルエンジンの排出ガスクリーン化に関する研究, 平成 17 年度 FUT ORC 研究報告集(2006), 5-8.
- 7) ヤンマーディーゼルエンジン NF 形シリーズ取扱説明書, ヤンマー(2003), 9.

(平成 21 年 3 月 31 日受理)